

УДК 669.295:669-179:623.093

А. В. Шалин, А. С. Степушин*, Ф. В. Макаров

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), г. Москва

* 69steel@gmail.ru

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук С. В. Скворцова

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОКИСЛЕНИЯ В ВОЗДУШНОЙ АТМОСФЕРЕ НА СТОЙКОСТЬ ОКСИДНЫХ ПЛЕНОК НА ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ В ВАКУУМЕ

В работе проведен анализ продолжительности нагрева в воздушной атмосфере на закономерности формирования оксидных пленок на титановом сплаве ВТ6. Изучена кинетика их растворения при последующем вакуумном отжиге. Определен оптимальный режим, формирующий оксидную пленку с лучшими изоляционными свойствами от проникновения водорода при наводороживающем отжиге.

Ключевые слова: титановый сплав, изотермическая обработка, оксидная пленка, термическая обработка, градиентная структура, наводороживающий отжиг

A. V. Shalin, A. S. Stepushin, F. V. Makarov

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF ISOTHERMAL EXPOSURE IN AN AIR ATMOSPHERE ON THE RESISTANCE OF OXIDE FILMS ON A TITANIUM ALLOY DURING THERMAL HYDROGEN TREATMENT

Influence of air atmosphere heat treatment duration on the patterns of oxide films formation in VT6 titanium alloy was investigated in this paper. The kinetics of films dissolution during subsequent vacuum annealing was studied. The optimal heat treatment mode to form an oxide film with the best insulating properties to protect alloy from hydrogen penetration during hydrogenous annealing was determined.

Key words: titanium alloy, isothermal treatment, oxide film, heat treatment, gradient structure, hydrogenous annealing

В настоящее время перспективным направлением развития титановых сплавов, является их применение для защиты от интенсивных ударных нагрузок. Одним из параметров, предъявляемых к общим техническим требованиям, необходимым для изготовления и сертификации данных материалов, является ГОСТ 50963–96 [1]. Перспективными считаются методы, направленные на создание в материале «линейных» градиентных структур. Одним из таких методов может являться термоводородная обработка, основанная на обратимом легировании водородом [2]. Однако для этого необходимо «изолировать» остальные стороны полуфабриката или изделия от проникновения водорода. В ранее проведенных собственных исследованиях [3] было показано, что наиболее эффективными для этой цели являются оксидные пленки, сформированные при длительной изотермической обработке при температуре 900 °С. В тоже время такая оксидная пленка имеет достаточно хрупкий верхний слой, что может негативно сказываться на ее свойствах. Поэтому цель настоящих исследований состояла в определении наиболее оптимальной длительности высокотемпературного окисления для предотвращения проникания водорода при последующем наводороживающем отжиге.

Исследования проводили на образцах, вырезанных из плиты толщиной 12,5 мм титанового сплава ВТ6. В начале работы изучались закономерности формирования оксидных пленок при температуре 900 °С в зависимости от продолжительности термической обработки в воздушной атмосфере и кинетика их растворения при последующей обработке в вакууме. Показано, что с уменьшением времени окисления с 4 часов до 30 мин прочность сцепления окалина с образцом увеличивается, а хрупкость, твердость окисных пленок и их толщина с альфированным слоем уменьшаются. Следует отметить, что твердость окалины косвенно свидетельствует о количестве кислорода в ней (табл. 1).

Таблица 1

Свойства окисных пленок
в зависимости от времени выдержки при 900 °С

Параметры	Время окисления на воздухе, ч		
	4	2	0,5
HV _{0,05}	1000	850	850
Толщина, мкм	130	120	70

Установлено, что вакуумный отжиг приводит к полному сохранению оксидной пленки после выдержки в течение 4 и 2 часов, частичному растворению пленки при окислении в течение 1 часа и к полному растворению — при выдержке в течение 0,5 часа. Наиболее значительное увеличение протяженности альфированного слоя наблюдается после изотермической обработки в течение 4 и 2 часов. Это связано с отсутствием растворимости оксидной пленки в процессе вакуумного отжига и диффузией кислорода вглубь металла (табл. 2).

Таблица 2

Влияние вакуумного отжига на свойства окисных пленок

Параметры	Режим обработки		
	900 °С, 4 часа, ВО: 800°, 0,5 часа	900 °С, 2 часа, ВО: 800°, 0,5 часа	900 °С, 0,5 часа ВО: 800°, 0,5 часа
HV _{0,05}	1100	950	850
Толщина, мкм	250	170	100

На следующем этапе были исследованы «защитные» свойства оксидных пленок, сформированных при температуре 900 °С в течение 4 и 2 часов, в процессе наводороживающего отжига в β -области до концентрации 0,4 % водорода.

Показано, что в образцах, предварительно окисленных в течение 4 и 2 часов со стороны свободной от окислов, формируется $(\alpha''+\beta)$ -структура. Так как в процессе наводороживающего отжига создаются условия, при которых практически весь водород концентрируется в поверхностном слое образца, то преобразование структуры происходит не по всей его толщине, а только на некоторую глубину. Установлено, что со сторон, «изолированных» оксидной пленкой, на образце, окисленном в течение 4 часов, уже на расстоянии 100 мкм от поверхности формируется $(\alpha+\beta)$ -структура без следов мартенсита, что свидетельствует об отсутствии проникновения водорода (рис. 1, а). В тоже время на образце, окисленном в течение 2 часов, еще на расстоянии 400 мкм в структуре присутствует α'' -мартенсит (рис. 1, б). Это говорит о растворении оксидной пленки в процессе наводороживающего отжига и частичном проникновении водорода с данных сторон.

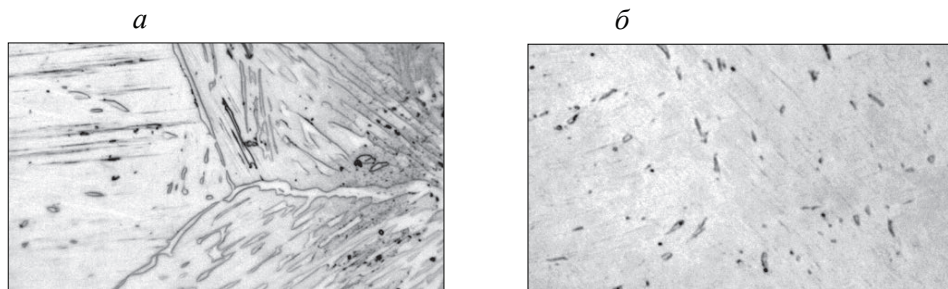


Рис. 1. Структура на образцах со сторон, изолированных оксидной пленкой, окисленных в течение 4 часов (а) и 2 часов (б) с последующим наводороживающим отжигом до 0,4 %

Таким образом, на основании проведенных исследований установлено, что лучшими изоляционными свойствами против проникновения водорода при наводороживающем отжиге обладает оксидная пленка, сформированная при высокотемпературном отжиге в течение 4 часов.

Литература

1. ГОСТ Р 50963—96. Защита броневая специальных автомобилей. Общие технические требования. М. : Издательство стандартов, 2003. 30 с.
4. Водородная технология титановых сплавов / А. А. Ильин [и др.]. М. : МИСиС, 2002. 392 с.
5. Изучение кинетики разрушения оксидных пленок на титановых сплавах при обработке в вакууме / С. В. Скворцова и [и др.] : сборник тезисов. М. : НИТУ «МИСиС», 2019. С. 45—46